



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 196 35 813 A 1**

⑤ Int. Cl.⁶:
H 04 J 11/00
H 04 L 27/32

⑳ Aktenzeichen: 196 35 813.2
㉑ Anmeldetag: 4. 9. 96
㉒ Offenlegungstag: 5. 3. 98

PHN 17459 Wo	MAT. DOSSIER
-----------------	-----------------

DE 196 35 813 A 1

⑦1 Anmelder:
Huber, Johannes, Prof. Dr.-Ing., 91094
Langensendelbach, DE; Fischer, Robert, Dipl.-Ing.,
91052 Erlangen, DE; Müller, Stefan, Dipl.-Ing., 91058
Erlangen, DE; Bäuml, Robert, Dipl.-Ing., 90453
Nürnberg, DE

⑦2 Erfinder:
gleich Anmelder

⑤4 Verfahren zur Reduktion des Spitzenwertfaktors bei digitalen Übertragungsverfahren

⑤7 Bei der hochratigen digitalen Übertragung mittels Mehr-
trägerübertragungsverfahren besteht das Hauptproblem im
sehr hohen Spitzenwertfaktor des Sendesignals. D. h. selbst
bei moderater Sendeleistung können sehr große Signalspit-
zenwerte auftreten. Aufgabe der Erfindung ist es, ein
Verfahren verfügbar zu machen, welches bei moderatem
Aufwand eine deutliche Reduktion der Signalspitzen er-
reicht. Dies wird dadurch erreicht, daß neben der zu
sendenden Nachricht durch determinierte, umkehrbar ein-
deutige Abbildungen mehrere, alternative, informationsäqui-
valente Nachrichtensequenzen erzeugt werden. Aus diesen
Alternativen wird eine, bezüglich des Spitzenwerts des
zugehörigen Sendesignals günstige, ausgesucht und
schließlich übertragen. Der Empfänger ist in der Lage, aus
diesem Empfangssignal durch Inversion der vorgenomme-
nen Abbildung die ursprüngliche Nachricht zu regenerieren.

DE 196 35 813 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 01. 98 702 070/597

7/23

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Reduktion des Verhältnisses von Signalspitzenleistung zur mittleren Leistung des Sendesignals bei digitalen Übertragungsverfahren.

Auf dem Gebiet der digitalen Nachrichtenübertragung sind Systeme bekannt, welche eine hochratige Datenübertragung ermöglichen. Eine Technik, welche in jüngster Zeit dabei zunehmend an Bedeutung gewinnt, ist die Mehrträgerübertragung, bekannt unter den Namen Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM), Discrete Multitone (DMT), bzw. Multicarrier Modulation (MCM). Bei der Mehrträgerübertragung wird der zu übertragende Datenstrom in viele parallele Teilkanäle aufgespalten, welche vorzugsweise im Frequenzmultiplex übertragen werden. Daneben können aber auch andere Multiplexechniken zum Einsatz kommen. Charakteristisch ist dabei jeweils, daß das zur Verfügung stehende Übertragungsmedium in viele parallele Teilkanäle (oft als Träger bezeichnet) zerlegt wird, welche unabhängig voneinander genutzt werden können. Vorzugsweise kommen in den einzelnen Teilkanälen Phase Shift Keying (PSK) oder Quadrature Amplitude Modulation (QAM) Modulationsverfahren zum Einsatz. Eine Aufwandsgünstige Realisierung dieses Prinzips besteht in der Anwendung der schnellen Fouriertransformation (Fast Fourier Transform (FFT)). Durch Einfügen eines sog. Schutz- oder Guard-Intervalls, wobei ein Block von Sendesymbolen durch teilweise, zyklische Wiederholung erweitert wird, kann schließlich erreicht werden, daß sich lineare Verzerrungen des Übertragungsmediums bzw. Mehrwegeausbreitung lediglich als unabhängige Gewichtung nach Betrag und Phase jedes Teilkanals auswirken. Wird eine differentielle Modulation eingesetzt, d. h. wird die Nachricht auf die Differenz zweier aufeinander folgender Symbole abgebildet, so ist keinerlei Entzerrung im Empfänger notwendig, da nicht das absolute Signal, sondern nur die relative Änderung informationstragend ist.

Ein wesentlicher Nachteil von Mehrträgerübertragungsverfahren ist, daß selbst bei moderaten mittleren Sendeleistungen sehr große Leistungsspitzen auftreten können. Dies rührt von der Unabhängigkeit der Teilkanäle her, resultierend in einer möglichen, konstruktiven Überlagerung der Teilsignale. Ein Maß für die Leistungsspitzen ist der sog. Spitzenwertfaktor

$$\zeta = \sqrt{\frac{\text{Spitzenwertleistung}}{\text{mittlere Leistung}}},$$

der in der Nachrichtentechnik eine entscheidende Rolle bei der Auslegung des verwendeten Sendeverstärkers spielt. Für hohe Spitzenwerte muß dabei eine große Maximalleistung vorgehalten werden (sog. Back-off), was zu einem Betrieb der Verstärker mit sehr schlechtem Wirkungsgrad führt. Andererseits darf man die Verstärker nicht zu nahe an der Sättigung betreiben, da dort die Verstärkerkennlinie deutlich vom ideal linearen Verlauf abweicht. Wird darüber hinaus die Sendestufe übersteuert, entsteht durch Sättigungseffekte des Verstärkers Außerbandstrahlung, d. h. Sendeleistung wird aus dem für die Übertragung zur Verfügung stehenden Frequenzband gestreut und stört dort eventuell vorhandene Übertragungssysteme.

Durch eine sendeseitige Reduktion des Spitzenwertfaktors von Mehrträgersendesignalen könnten bei vorgegebener abzustrahlender Nutzleistung kleinere und somit wesentlich billigere Leistungsverstärker eingesetzt werden. Dadurch würden Mehrträgerübertragungsverfahren noch attraktiver werden.

Stand der Technik

In der Literatur sind verschiedene, jedoch durchweg unbefriedigende Ansätze bekannt den Spitzenwertfaktor von Mehrträgersendesignalen zu reduzieren.

Im Aufsatz "Reduzierung der durch Nichtlinearitäten hervorgerufenen Außerbandstrahlung bei einem Mehrträgerverfahren" von M. Pauli und H.P. Kuchenbecker, ITG-Fachbericht 136 "Mobile Kommunikation", wird ein Verfahren vorgestellt, bei welchem durch Nachbearbeitung des Sendesignals die Spitzenamplituden abgesenkt werden. Dazu werden diese im ersten Schritt gesucht und dann im zweiten Schritt in deren Umgebung die Amplitude des Sendesignals in der Weise "weich" abgesenkt (allmähliches Absenken der mittleren Leistung und anschließendes Zurückgehen auf den ursprünglichen Wert), daß eine gewünschte Spitzenleistung nicht überschritten wird. Da dies im allgemeinen eine nichtreversible Operation darstellt kann im Empfänger die Nachricht nicht mehr in idealer Weise zurückgewonnen werden, was eine Erhöhung der Fehlerrate hervorruft. Speziell kann selbst bei störungsfreiem Kanal keine fehlerfreie Übertragung garantiert werden.

Daneben sind eine Vielzahl von Ansätzen bekannt (z. B. die Aufsätze "Block coding scheme for reduction of peak to mean envelope power ratio of multicarrier transmission schemes" von A. Jones, T. Wilkinson und S. Barton, Electronics Letters, Dezember 1994, und "Reduction of peak to mean ratio of multicarrier modulation using cyclic coding" von D. Wulich, Electronics Letters, Februar 1996), welchen gemeinsam ist, daß Redundanz in das Signal eingebracht wird, vornehmlich dadurch, daß einzelne Träger nicht zur Datenübertragung, sondern zur Beeinflussung des Sendesignalverlaufs verwendet werden. Oft kommen dabei speziell entworfene Blockcodes zur Beschreibung der günstigsten Redundanzsymbole zum Einsatz. Teilweise wird versucht diese Codes gleichzeitig zur Fehlerkorrektur zu verwenden. Gravierender Nachteil dieser Verfahren ist, daß sie meist nur für eine sehr geringe Anzahl von Trägern geeignet sind, und somit für die Praxis uninteressant sind. Zudem sind die Verfahren auf binäre oder allenfalls quaternäre Phasenumtastung (PSK) in den Teilkanälen beschränkt. Für jede Änderung der Signalkonstellation oder der Trägerbelegung ist daher eine angepaßte Strategie der Redundanzbringung erforderlich, resultierend in sehr unflexiblen Verfahren.

Ein weiteres aus der Literatur bekanntes Verfahren (Aufsatz "Multicarrier modulation with low peak-to-aver-

age power ratio" von M. Friese, Electronics Letters, April 1996) verwendet einen iterativen Prozeß zur Bestimmung der redundanten Parametern. Um ein Signal mit sehr geringen Spitzenwerten zu erhalten sind dabei aber übermäßig viele Fouriertransformationen nötig. Neben dem großen numerischen Aufwand ist vor allem die sehr große notwendige Redundanz (bis zu 50%) Hauptkritikpunkt.

Größter Nachteil fast aller bisher vorgeschlagenen Lösungsansätze ist, daß oft nur diejenigen Spitzenamplituden vermieden werden, welche mit fast verschwindender Wahrscheinlichkeit auftreten und somit im praktischen Betrieb ohnehin zu vernachlässigen sind. Für die Praxis ist dagegen eine Reduktion aller Signalspitzen auf ein erträgliches Maß anzustreben. Daneben sind die bekannten Verfahren stark auf das verwendete Symbolalphabet, die konkrete Zuordnung der Nachricht zu den Signalkunkten oder die Zahl der Träger angepaßt und somit extrem unflexibel.

Aufgabe

Für digitale Übertragungsverfahren, insbesondere mittels Mehrträgermodulation, sollen Vorrichtungen entwickelt werden, die Verfahren realisieren, welche eine merkliche Reduzierung des Spitzenwertfaktors ζ des Sendesignals ermöglichen, wobei die Lösung möglichst:

1. mit minimaler zusätzlicher Redundanz eine maximal mögliche Reduktion des Spitzenwertfaktors erreichen soll.
2. unabhängig von der im Mehrträgermodulationsverfahren verwendeten Trägeranzahl eine zuverlässige und signifikante Reduktion der Spitzenwerte erreichen soll.
3. weitestgehend unabhängig von den in den Einzelträgern eingesetzten Modulationsverfahren sowie der speziellen Zuordnung von Daten zu Signalkunkten sein soll.
4. mit einem vertretbaren Mehraufwand im Sender (sowie im Empfänger) durchführbar sein soll.

Der der Erfindung zugrundeliegende Grundgedanke besteht darin, daß die zu sendende Nachricht durch eine vorgegebene Anzahl von deterministischen und umkehrbar eindeutigen Abbildungsfunktionen modifiziert wird, wodurch im Sender zur ursprünglichen Nachrichtensequenz alternative, informationsäquivalente Sequenzen erzeugt werden. Nach Modulation der äquivalenten Nachrichtensequenzen wird aus den informationsäquivalenten Sendesignalen ein im Hinblick auf die auftretenden maximalen Signalamplituden günstiges Sendesignal für die tatsächliche Übertragung ausgewählt. Mit Kenntnis der aktuell eingesetzten deterministischen Abbildung kann die ursprüngliche Nachricht wiederhergestellt werden. Eine mögliche Ausprägung des Verfahrens besteht darin, die im konkreten Fall bei der gesendeten Signalsequenz durchgeführten Abbildungsvorschrift dem Empfänger über zusätzliche Seiteninformation in geeigneter Weise mitzuteilen. Alternativ kann durch geeignete Maßnahmen die Abbildungsvorschrift auch selbst vom Empfänger regeneriert werden.

Vorteile

Das erfindungsgemäße Verfahren erlaubt eine deutliche Reduktion der Signalspitzenwerte bei Mehrträgermodulation und ermöglichen somit den Betrieb der Sendeverstärker mit einem deutlich geringeren back-off bei vergleichbarer Außenbandstrahlung. Die sendeseitig einzusetzenden Leistungskomponenten werden hierdurch billiger und können in einem Arbeitspunkt mit höherem Wirkungsgrad betrieben werden, was sich gerade in mobilen Kommunikationsanwendungen positiv auf die Gerätebetriebsdauer ohne zwischenzeitigem Netzanschluß auswirkt. Darüber hinaus arbeitet das Verfahren mit einem vertretbaren Mehraufwand im Sender und Empfänger, da oft bereits mit wenigen alternativen Nachrichtensequenzen eine hinreichend große Reduktion der Spitzenwerte erreicht werden kann. Die Erfindung arbeitet in allen Ausprägungen im Gegensatz zu den in der Literatur bekannten Lösungen unabhängig vom konkret vorliegenden Modulationsverfahren in den Einzelträgern, den verwendeten Signalalphabeten, der konkreten Zuordnung, sowie der verwendeten Trägeranzahl. Vorteilhaft ist ferner, daß, anders als in vielen bekannten Verfahren, nur ein Bruchteil an zusätzlicher Redundanz in das Signal eingeführt wird. Durch die reduzierte Dynamik der auftretenden Signalwerte lassen sich auch die Komponenten zur Digital-/Analogumsetzung im Sender sowie zur Analog-/Digitalumsetzung im Empfänger in der Auflösung reduzieren, was wiederum zu einer Kosteneinsparung bei den Geräten führt.

Die Erfindung wird nachfolgend an zwei Ausführungsbeispielen erläutert, wobei unterschiedliche Verfahren zur Erzeugung der informationsäquivalenten Nachrichten zum Einsatz kommen.

Mehrträgerübertragungsverfahren werden üblicherweise effizient dadurch realisiert, daß Blöcke der in den Modulator eingespeisten Nachricht durch das sogenannte Mapping auf einen Block (Vektor) A_μ der Länge N bestehend aus den Trägerwerten $A_{\mu,v}$, $v = 0, \dots, N-1$ abgebildet werden. Die jeweiligen Werte (Signalkunkte) werden aus einem diskreten Signalalphabet A als Funktion der jeweiligen zu übertragenden Nachricht gewählt. Die Signalkunkte sind im allgemeinen komplexe Zahlen. Die Sendefolge $a_{\mu,\rho}$, $\rho = 0, \dots, N-1$, die zu diesem, im folgenden als Trägerkonstellation A_μ bezeichneten, Block aus Trägerwerten gehört erhält man durch inverse diskrete Fouriertransformation (IDFT) von A_μ . Günstigerweise wird die Folge komplexer Werte $a_{\mu,\rho}$ wieder zu einem Vektor a_μ zusammengefaßt. Daneben kann aber auch jede andere Transformation, beispielsweise die Walsh-Hadamard-Transformation, eine diskrete Cosinus-Transformation oder die Karhunen-Loève-Transformation zum Einsatz kommen. Darunter fällt aber auch eine Sendepulsformung bei der üblichen PAM-Übertragung (Einträgerverfahren ergeben sich für $N = 1$), eine Transformation eines zeitdiskreten Signals in ein zeitkontinuierliches Sendesignal. Ebenfalls sind Mischformen aus den genannten Transformationen und einer Impulsformung denkbar.

Verfahren A

In der ersten vorteilhaften Ausprägung der Erfindung werden vorab zwischen Sender und Empfänger U (möglichst) voneinander verschiedene Vektoren $P^{(u)} = [P_0^{(u)}, P_1^{(u)}, \dots, P_{N-1}^{(u)}]$, $\mu = 1, \dots, U$, mit komplexen Werten $P_v^{(u)}$ und $|P_v^{(u)}| = \text{const } v = 0, \dots, N-1$ vereinbart. Alternativ können diese Vektoren auch in Sender und Empfänger jeweils nach der selben, fest vorgegebene Vorschrift algorithmisch erzeugt werden. Auch können von einem Block zum nachfolgenden die Modifikationsvektoren $P^{(u)}$ jeweils neu vereinbart werden. Sendeseitig wird dann jeweils komponentenweise das Produkt $A_{\mu, v} \cdot P_v^{(u)}$ gebildet und aus den so entstandenen Blöcken mittels der verwendeten Transformation (z. B. IDFT) die zugehörigen Zeitsignale berechnet. Aus diesen U Möglichkeiten wird schließlich ein günstiges Sendesignal \tilde{a}_μ für die tatsächliche Übertragung ausgewählt. Abb. 1 stellt das erfindungsgemäße Verfahren schematisch dar. Mit der Kenntnis des aktuell verwendeten Vektors $P^{(u)}$ kann empfangsseitig der Nachrichtenvektor A_μ durch Division mit $P^{(u)}$ und somit die darin enthaltene Information wiedergewonnen werden.

Eine mögliche Ausgestaltung der Erfindung gemäß vorliegender Ausprägung besteht darin, dem Empfänger die Nummer u des Modifikationsvektors $P^{(u)}$ als Seiteninformation im Sendesignal selbst mitzuteilen. Denkbar wäre dazu z. B. einzelne Träger $A_{\mu, v}$ zu reservieren, welche keine Nutzinformation tragen.

Eine zweite Ausprägung ist darin zu sehen, die Nummer von $P^{(u)}$ nicht explizit dem Empfänger mitzuteilen, sondern dieser regeneriert die Nummer des tatsächlich verwendeten Vektors $P^{(u)}$ zur Inversion der Modifikation selbst. Denkbar wäre eine ohnehin vorhandene Codierung zur Fehlerkorrektur auch mit für diese Aufgabe einzusetzen. Dazu schätzen U Decoder den Vektor A_μ , wobei diese jeweils einen der möglichen Vektoren $P^{(u)}$ vermuten. Schließlich wird derjenige Schätzwert für die weitere Verarbeitung herangezogen, welcher die größte Wahrscheinlichkeit aufweist.

Bei unbekannten bzw. zeitvarianten Kanälen, wie sie z. B. beim Mobilfunk vorliegen, wird günstigerweise die Information nicht absolut im Signal repräsentiert, sondern differentiell, d. h. in der Änderung aufeinanderfolgender Symbole $A_{\mu, v}$ dargestellt. Wird dies gewünscht, so ist die Erfindung in der oben beschriebenen Ausprägung leicht dahingehend zu modifizieren. Dazu ist lediglich sendeseitig nach der Multiplikation mit $P^{(u)}$ eine Integration (Summation) nötig, da $A_{\mu, v} \cdot P_v^{(u)}$ nun die Inkremente darstellen. Empfangsseitig, vor einem evtl. vorhandenen Decoder und vor der Inversion der Modifikation wird dieser Vorgang durch Differentiation wieder rückgängig gemacht.

Verfahren B

Eine zweite vorteilhafte Ausprägung der Erfindung soll nun vorgestellt werden, die im Falle einer linearen Signaltransformation günstig zu implementieren ist. In diesem Lösungsansatz erfolgt eine Aufteilung der im jeweiligen Mehrträgermodulationsverfahren belegten Träger A_μ in V Unterblöcke $A_\mu^{(v)}$, $v = 1 \dots V$, die jeweils paarweise disjunkte Trägerpositionen mit den entsprechenden Amplitudenwerten aus der jeweiligen Gesamtheit A_μ der Trägerwerte belegen, wobei die Gesamtanzahl der auf diese Weise übernommenen Trägerpositionen in den jeweiligen Unterblöcken $A_\mu^{(v)}$ beliebig ist. Alle in anderen Unterblöcken untergebrachten Trägerpositionen des jeweils betrachteten Unterblocks werden mit dem Wert Null belegt, wie aus Abb. 2 hervorgeht. Die Verteilung der einzelnen Träger auf die jeweiligen Blöcke ist ebenso beliebig. Nach der Aufteilung ist jede Trägerposition aus A_μ in genau einem Unterblock $A_\mu^{(v)}$ repräsentiert.

Die so erhaltenen Unterblöcke $A_\mu^{(v)}$ von Trägern werden einzeln durch V (mit entsprechender Hardware parallelisierbare) lineare Transformationen (z. B. IDFT) in die so bezeichneten partiellen Sendesequenzen $a_\mu^{(v)}$ überführt. Auf diesen Sequenzen basierend läßt sich nun in einer "Spitzenwertoptimierung" durch ein für diesen Zweck geeignetes Verfahren eine zielgerichtete optimierende Kombination der partiellen Sendesequenzen durchführen, wobei nur noch eine geringe Anzahl von Parametern b_v , mit $b_v = \text{const.} \cdot e^{j\varphi_v}$, $\varphi_v \in [0, 2\pi)$ (Dreh(streck)ung des komplexen Signal), zu bestimmen ist, deren Auswirkung auf das Sendesignal aus den Zwischenergebnissen $a_\mu^{(v)}$ direkt ersichtlich ist. Das Blockdiagramm der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist in Abb. 3 dargestellt. Das ideale Resultat der Optimierung ist mit den optimalen Faktoren

$$(\hat{b}_1, \dots, \hat{b}_V) = \underset{(b_1, \dots, b_V)}{\operatorname{argmin}} \left(\max_{\rho=0, \dots, N-1} \sum_{v=1}^V b_v \cdot a_{\mu, \rho}^{(v)} \right), \quad |b_v| = \text{const.} \quad v = 1, \dots, V \quad (1)$$

die Sendesignalsequenz

$$\tilde{a}_\mu = \sum_{v=1}^V \hat{b}_v \cdot a_\mu^{(v)}, \quad (2)$$

welche unter allen alternativen Sendesequenzen den geringsten Spitzenwert aufweist. Es können erfindungsgemäß jedoch auch andere Sendesequenzen \tilde{a}_μ erzeugt und gesendet werden, welche einen für die Anwendung hinreichend geringen Spitzenwertfaktor besitzen.

Das erfindungsgemäße Verfahren in der zweiten Ausprägung wird bevorzugt wie folgt eingesetzt. Ohne Einschränkung der Allgemeinheit sowie ohne Einbuße im erzeugten Freiheitsgrad und somit der Leistungsfähigkeit des beschriebenen Ansatzes läßt sich z. B. $b_1 = 1$ setzen, was soviel bedeutet, daß einer der gebildeten

Unterblöcke stets unverdreht übertragen werden kann. Dieser Block könnte unter anderem die Träger enthalten, die aus verschiedensten Gründen mit einer fest definierten Phasenlage zu übertragen sind, wie z. B. Pilotträger zur Kanalschätzung. Bei einer kohärenten (oder in Zeitrichtung differentiell kohärenten) Demodulation können diese Träger z. B. auch die in diesem Fall notwendige Seiteninformation übertragen. Es sind somit nur V-1 Phasenlagen durch die Optimierung festzulegen und zum Empfänger zu übertragen. 5

Die Seiteninformation kann z. B. direkt mit dem modifizierten Mehrträgersignal innerhalb des einen unverdrehten Unterblocks übertragen werden. Hierbei kann diese Information durch einen leistungsfähigen Code geschützt werden und/oder diese auf speziell hierfür reservierten Träger mit einer niedrigstufigen (und somit leistungseffizienten) Modulation übertragen werden. Die Seiteninformation auf den unverdrehten Einzelträgern (welche beliebig über den Frequenzbereich verstreut sein können) kann somit sicher und ohne Zusatzwissen 10 gewonnen und sogleich zur Demodulation der potentiell verdrehten Unterblöcke benutzt werden.

Die Anzahl der möglichen Drehwinkel für die Blöcke sollte nicht zu groß sein, um die Menge der für die Übertragung der Seiteninformation benötigten Bits nicht unnötig hoch werden zu lassen. Einfachheitshalber kann man sich bei der Implementierung des Lösungsansatzes auf die vier Faktoren $b_v \in \{\pm 1, \pm j\}$ beschränken, womit pro Mehrträgersignalsequenz $2(V-1)$ Bits Seiteninformation zu übertragen sind. Außerdem und eigentlich entscheidend hinsichtlich des Implementierungsaufwands fallen bei der Kombination der partiellen Sendesignale zum endgültigen Sendesignal keine echten Multiplikationen mehr an. Die hierfür notwendigen Operationen lassen sich dann einfach durch Vertauschen von Real- und Imaginärteil sowie durch Additionen und Subtraktionen ausführen. 15

Oft ermöglicht bereits eine Beschränkung auf vier mögliche Faktoren eine ausreichend gute Reduktion des Spitzenwerts und eine weitere Steigerung der Möglichkeiten erzielt keine den Aufwand rechtfertigenden zusätzlichen Gewinne. Die (sub)optimierten Faktoren werden hier also durch 20

$$(\hat{b}_1, \dots, \hat{b}_V) = \underset{(b_1, \dots, b_V)}{\operatorname{argmin}} \left(\max_{\rho=0, \dots, N-1} \sum_{v=1}^V b_v \cdot a_{\mu, \rho}^{(v)} \right), \quad b_v \in \{\pm 1, \pm j\} \quad v = 1, \dots, V \quad (3) \quad 25$$

bestimmt.

Es könnten in der Vorrichtung für das Verfahren B speziell abgestimmte Transformations-Algorithmen (z. B. IDFT) realisiert werden, welche ausnutzen, daß in den zu transformierenden Trägerunterblöcken $A_{\mu}^{(v)}$ ein Großteil der Eingangswerte Null ist, womit sich der Mehraufwand durch mehrfache Transformationen in dem erfindungsgemäßen Verfahren B (vor allem bei geeigneter Unterblockaufteilung) erneut reduziert. 30

Eine sehr günstige Ausprägung des Verfahrens B besteht darin, daß die zu übertragende Information jeweils blockweise differentiell moduliert wird. Das bedeutet, daß jeder Block für sich von Träger zu Träger (d. h. in Frequenzrichtung) differentiell moduliert wird. Hierfür lassen sich prinzipiell alle Signalalphabete verwenden, die differentiell moduliert werden können, wie z. B. M-DPSK (M-ary differential phase-shift keying) oder M-DAPSK (M-ary differential amplitude and phase-shift keying), Verfahren welche eine höhere spektrale Effizienz erzielen. Eine Übertragung von expliziter Seiteninformation ist in diesem Schema nicht mehr notwendig. Lediglich die Blockaufteilung muß spezifiziert und im Sender sowie im Empfänger bekannt sein. Im Zusammenhang mit einer differentiellen Modulation in Frequenzrichtung sind unterschiedliche Blockaufteilungen denkbar, die eine im Hinblick auf den vorliegenden Kanal zuverlässige digitale Übertragung erlauben. Beispielsweise können die einzelnen Blöcke kammartig ineinandergreifen. Die Blockaufteilung kann aber in vorliegender Ausprägung des Verfahrens für minimale Redundanz auch so gewählt werden, daß jeweils lückenlos benachbarte Träger in einem Unterblock zusammengefaßt werden. Dies ist in Abb. 4 dargestellt. Somit ergibt sich für jeden der V Blöcke nur ein redundanter Referenzträger, der zunächst als "Fixpunkt" unmoduliert belassen wird und somit als signalförmige Redundanz interpretiert werden kann. 35 40 45

Die differentiell eingebrachte Information innerhalb eines Unterblockes bleibt durch das gemeinsame Verdrehen aller Einzelträger im Unterblock wie gewünscht unberührt und kann somit ohne Seiteninformation im Empfänger unterblockweise demoduliert werden. 50

Aufgrund der Asymmetrie des Aufwands ließe sich ein in dieser Art spezialisiertes Verfahren vor allem für Rundfunkanwendungen ideal einsetzen, da die Empfänger bezüglich ihrer Komplexität nahezu exakt dem Empfänger mit unbearbeitetem Sendesignal entsprechen und somit durch die dynamikreduzierenden Maßnahmen nicht teurer werden. 55

Patentansprüche

1. Verfahren zur Reduktion des Spitzenwertfaktors bei digitalen Übertragungsverfahren, dadurch gekennzeichnet, daß die digitale Nachricht sendeseitig durch deterministische und umkehrbar eindeutige Abbildungsvorschriften auf alternative, informationsäquivalente Sequenzen abgebildet werden, aus welchen eine bezüglich des Spitzenwerts des zugehörigen Sendesignals günstige Sequenz ausgewählt wird und schließlich auch zur Übertragung herangezogen wird. 60
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Signal, das zur Übertragung gelangt, aus dem ursprünglichen Nachrichtensignal durch eine Transformation erzeugt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß diese Transformation ein Mehrträgerübertragungsverfahren erzeugt. 65
4. Verfahren nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß diese Transformation aus einem zeitdiskreten Signal ein bandbreiteneffizientes, zeitkontinuierliches Signal erzeugt.

5. Verfahren nach Anspruch 1, 2, 3 oder Anspruch 1, 2, 4, dadurch gekennzeichnet, daß aus den Trägern $A_{\mu, v}$, $\mu = 0, \dots, N-1$, durch Multiplikation mit Werten $P_v^{(u)}$, $\mu = 1, \dots, U$, alternative, informationsäquivalente Sequenzen gebildet werden.
6. Verfahren nach Anspruch 1, 2, 3, 5 oder Anspruch 1, 2, 4, 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Werte $P_v^{(u)}$ zwischen Sender und Empfänger fest vereinbart werden.
7. Verfahren nach Anspruch 1, 2, 3, 5 oder Anspruch 1, 2, 4, 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Werte $P_v^{(u)}$ jeweils nach der gleichen, vorgegebene Vorschrift im Sender und Empfänger separat für sich bestimmt werden.
8. Verfahren nach Anspruch 1, 2, 3, 5, 6 oder Anspruch 1, 2, 3, 5, 7 oder Anspruch 1, 2, 4, 5, 6 oder Anspruch 1, 2, 4, 5, 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Nummer u der Werte $P_v^{(u)}$ dem Empfänger als Seiteninformation mitgeteilt wird.
9. Verfahren nach Anspruch 1, 2, 3, 5, 6 oder Anspruch 1, 2, 3, 5, 7 oder Anspruch 1, 2, 4, 5, 6 oder Anspruch 1, 2, 4, 5, 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Empfänger selbst die Nummer u der Werte $P_v^{(u)}$ alleine aus der Empfangssequenz ableitet.
10. Verfahren nach Anspruch 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Information nicht absolut, sondern differentiell im Signal repräsentiert wird und die modifizierten Träger $A_{\mu, v} \cdot P_v^{(u)}$ somit jeweils die Informationsinkremente darstellen aus welchen durch Integration die schließlich zu übertragende Informationssequenz gewonnen wird.
11. Verfahren nach Anspruch 1, 2, 3 oder Anspruch 1, 2, 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Trägerblock A_{μ} in V Unterblöcke $A_{\mu, v}^{(u)}$, $v = 1, \dots, V$, aufgeteilt wird, die getrennt in partielle Sendesequenzen überführt werden, und diese schließlich mittels der Faktoren b_1, \dots, b_v optimierend zu einer informationsäquivalenten Sendesequenz kombiniert werden.
12. Verfahren nach Anspruch 1, 2, 3, 11 oder Anspruch 1, 2, 4, 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Faktoren b_1, \dots, b_v der Unterblöcke in geeigneter Darstellung dem Empfänger als Seiteninformation mitgeteilt wird.
13. Verfahren nach Anspruch 1, 2, 3, 11 oder Anspruch 1, 2, 4, 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Faktoren b_1, \dots, b_v im Empfänger alleine aus der Empfangssequenz abgeleitet werden.
14. Verfahren nach Anspruch 1, 2, 3, 11 oder Anspruch 1, 2, 4, 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Information nicht absolut, sondern in Frequenzrichtung differentiell im Signal repräsentiert wird und die Unterblockaufteilung für diesen Zweck geeignet gewählt wird.
15. Verfahren nach Anspruch 1, 2, 3, 11, 14 oder Anspruch 1, 2, 4, 11, 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Unterblockaufteilung zwischen Sender und Empfänger in geeigneter Weise vereinbart wird.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

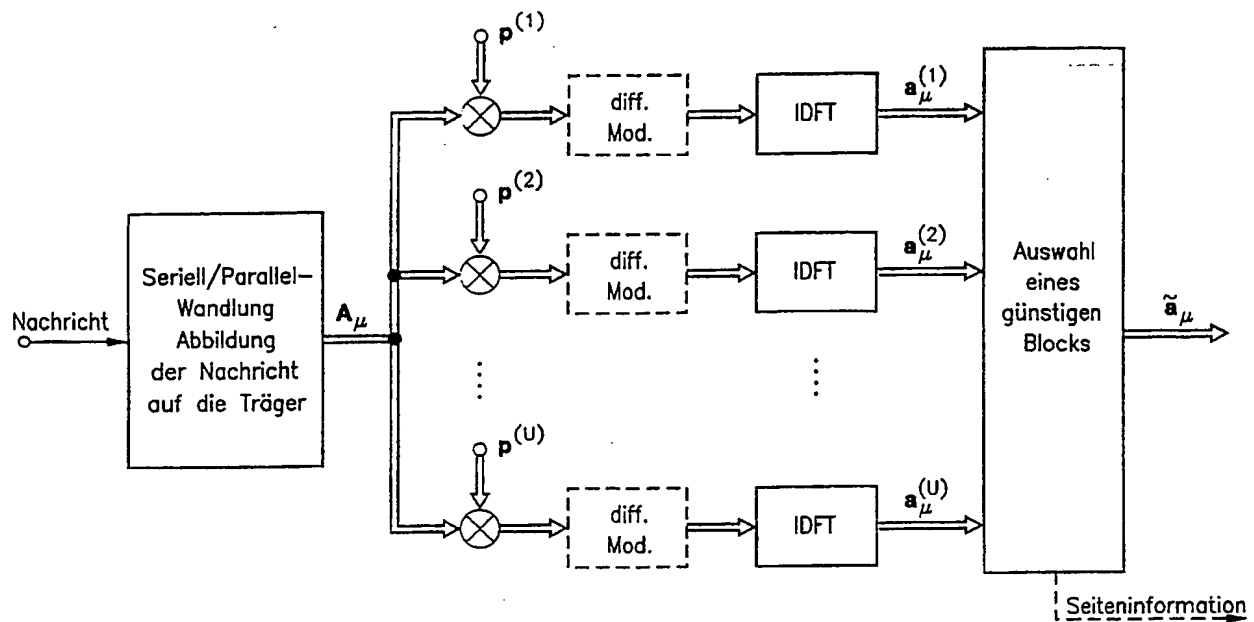


Abbildung 1: Darstellung der erfindungsmäßigen Vorrichtung zur Reduktion des Spitzenwertproblems bei Mehrträgerverfahren nach Verfahren A.

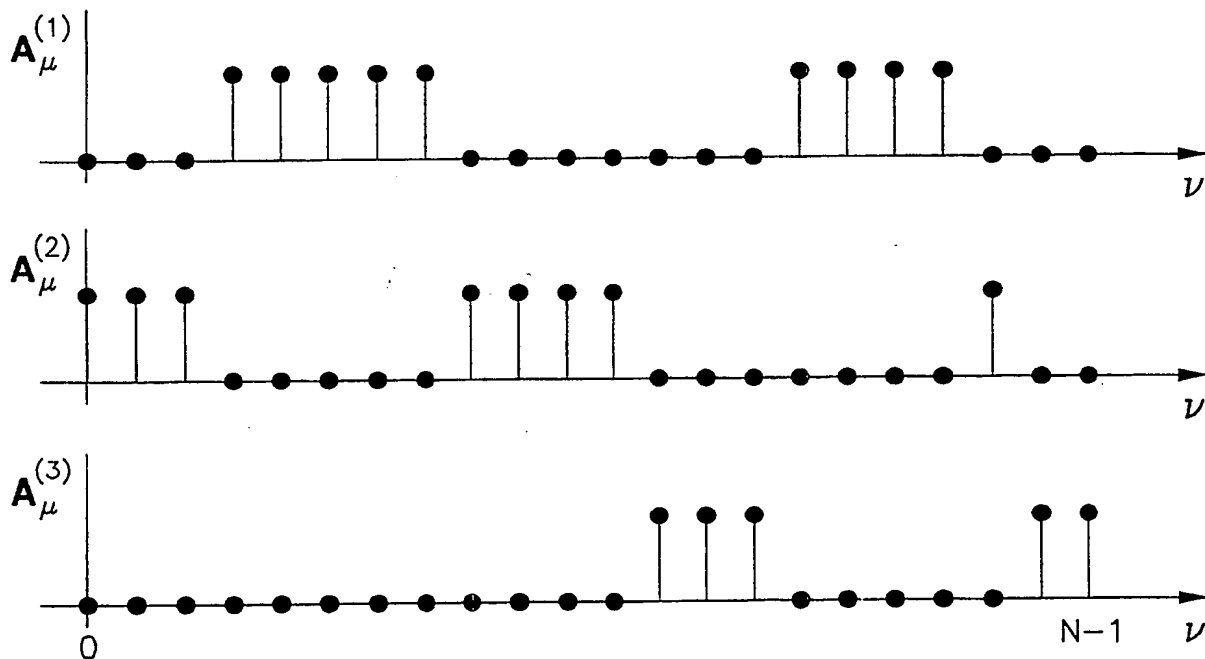


Abbildung 2: Beispiel einer Aufteilung der Träger auf die Unterblöcke für $V = 3$ im Verfahren B.

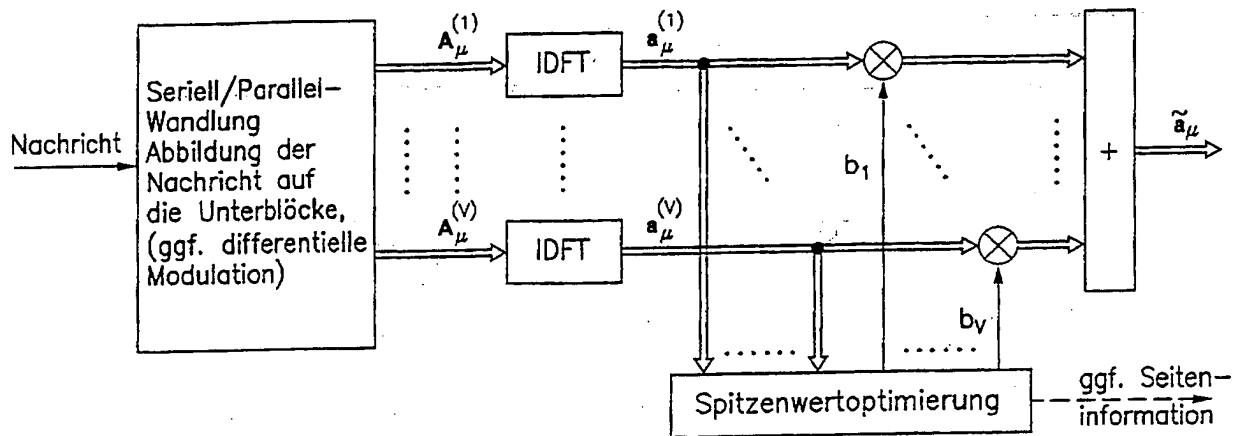


Abbildung 3: Darstellung der erfindungsmäßigen Vorrichtung zur Einschränkung des Spitzenwertproblems bei Mehrträgerverfahren nach Verfahren B.

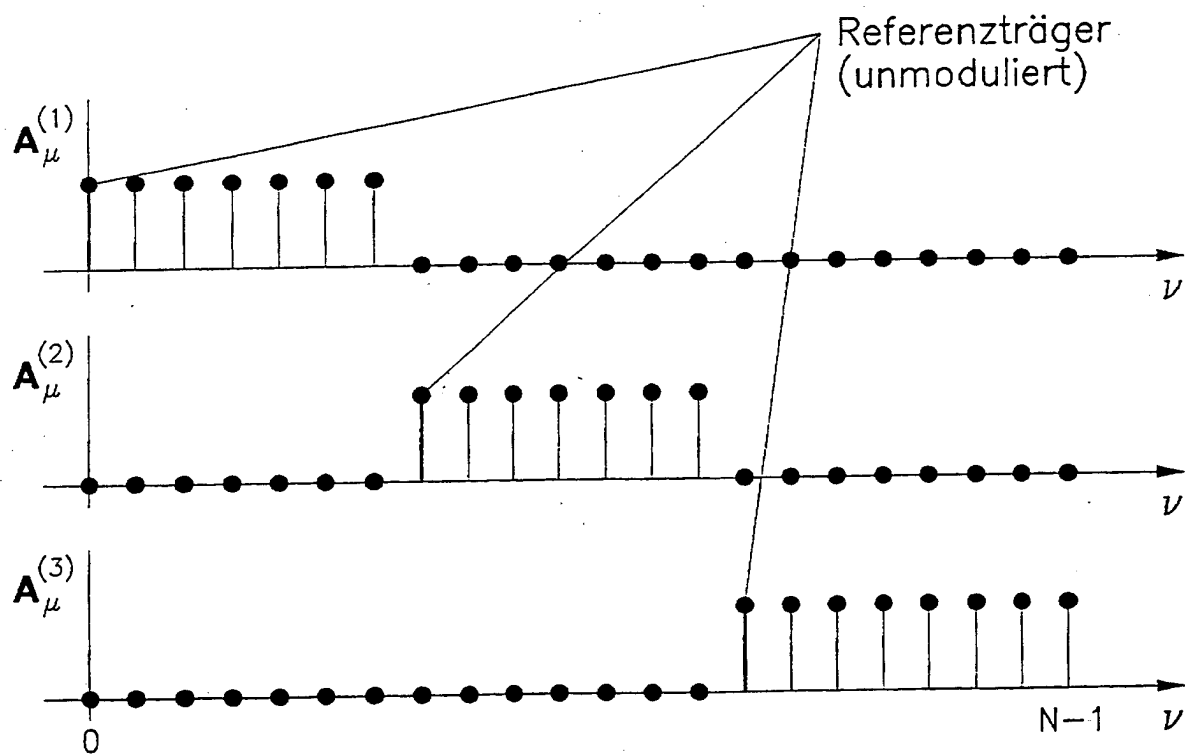


Abbildung 4: Beispiel einer günstigen Aufteilung der Träger auf die Unterblöcke bei differentieller Modulation in Frequenzrichtung für $V = 3$ in Verfahren B.